

## БИОЛОГИЯ. ЭКОЛОГИЯ

УДК 574.587(571.620)

### СОДЕРЖАНИЕ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИХ ПИГМЕНТОВ В ВОДОРΟΣЛЯХ ПЕРИФИТОНА ПРОТОКИ АМУРСКОЙ (ХАБАРОВСКИЙ КРАЙ)

Н.М. Яворская

Институт водных и экологических проблем ДВО РАН,  
ул. Дикопольцева 56, г. Хабаровск, 680000,  
e-mail: yavorskaya@iver.as.khb.ru

*Приведены первые результаты исследований содержания фотосинтетических пигментов в водорослях перифитона протоки Амурской реки Амур (окрестности г. Хабаровска) в весенне-осенний периоды 2014 и 2015 гг. Проанализирована сезонная динамика пигментных характеристик перифитона протоки. Дана оценка современного трофического состояния и качества воды протоки Амурской по содержанию хлорофилла.*

**Ключевые слова:** р. Амур, протока Амурская, водоросли перифитона, фотосинтетические пигменты, сезонная динамика, трофический статус, биоиндикация.

#### Введение

Важной составной частью современных экологических исследований является изучение структуры и функционирования водных экосистем, оценка их экологического состояния, определение трофического статуса водного объекта и качества воды, изменяющихся под влиянием природных и антропогенных факторов [8].

Одна из наиболее крупных рек России – Амур – пересекает несколько природных зон и испытывает воздействие многих антропогенных факторов. Это обуславливает необходимость постоянного мониторинга и изучения состояния реки для разработки мероприятий, препятствующих ее загрязнению и эвтрофированию. Водоросли планктона и перифитона являются одними из основных первичных продуцентов в речных экосистемах. Содержание хлорофилла *a* и соотношение фотосинтетических пигментов водорослей – интегральные и доступные параметры для получения сведений об уровне развития, пространственно-временном распределении фитопланктона и литофильного перифитона (фитоэпилитона), таксономическом положении доминантов водорослей и эколого-санитарных характеристиках воды [8]. Кроме того, альгоценозы прикрепленных водорослей формируют биотопы для водных беспозвоночных, служат пищевым ресурсом беспозвоночных и рыб, активно участвуют в формировании потоков вещества и энергии, процес-

сах самоочищения водных объектов, являются основным преобразователем минеральных веществ в органические. Вклад водорослей перифитона в суммарную первичную продукцию ряда водоемов достигает 50% и более [9, 11, 14, 19].

Отмечено [1, 15], что на равнинных участках рек Приморья и бассейна Нижнего Амура основное количество первичной продукции создается за счет фотосинтетической активности фитопланктона. Однако в большинстве рек Дальнего Востока безраздельно доминируют сообщества фитоперифитона, которые легко выдерживают кратковременное воздействие локальных изменений гидрологического и гидрохимического режима и в общем отражают средние условия водотока. В целом в области крениал и ритрали данных рек содержание хлорофилла *a* колеблется от менее чем 0,2 до 26 мг/м<sup>2</sup> и в области потамали до 200 и более мг/м<sup>2</sup>. Валовая первичная продукция дальневосточных рек изменяется от 0,00 (отсутствие фотосинтеза) до 1,7 гС/м<sup>2</sup> в сутки [1, 20].

Несмотря на важную роль перифитонных водорослей, исследованы они в значительно меньшей степени, чем водоросли планктона и бентоса, что препятствует формированию целостного представления о структуре и функционировании водных экосистем [13]. Настоящая работа частично восполняет этот пробел, так как определение пигментных характеристик перифитона протоки Амурской до наших исследований не проводи-

лось. Протока используется для судоходства и рекреации, служит местом нагула и миграции осетровых, лососевых и частичковых видов рыб, которых в реке Амур насчитывается более 130 видов. Кормовую базу многих из них составляют донные беспозвоночные животные, детрит, высшие растения и водоросли, причем только последних на Нижнем Амуре ниже впадения р. Уссури числится 336 видов, из них исключительно в теплый период года встречается до 180 видов, состоящих на 90% из диатомовых и зеленых [10, 15]. В половодье и в период летне-осенних паводков в водной массе Амура преобладают диатомовые водоросли из рода *Aulacosira*; в летнюю межень в планктоне наряду с диатомовыми водорослями большого количественного развития достигают сине-зеленые водоросли из родов *Aphanizomenon*, *Anabaena* и *Microcystus* [1].

Цель работы – оценить трофический статус и качество воды протоки Амурской по содержанию фотосинтетических пигментов в водорослях перифитона.

#### Материал и методы

Протока Амурская (пр. Казакевичева) длиной 70 км впадает с правого берега в р. Амур в районе 930 км, напротив центральной части г. Хабаровска. В нее впадает 33 притока протяженностью менее 10 км, общая длина которых составляет 65 км. Протока соединяет устье р. Уссури с основным руслом Амура и отделяет о-в Большой Уссурийский от основной части Хабаровского края [4]. В целом химический состав воды в р. Амур гидрокарбонатно-кальциевый. Минерализация воды на Нижнем Амуре в паводковый период составляет 33–75 мг/л, в летнюю и осеннюю межень – 60–80 мг/л [12].

Обследование протоки Амурской проводилось с мая по ноябрь 2014 г. и с июня по ноябрь 2015 г. Пробы водорослей перифитона собраны в протоке Амурской, за исключением августа 2014 г., в районе с. Рошино; в августе 2014 г. – в районе с. Осиновая Речка, рядом с бывшим местом установки понтонного моста. Температура воды варьировала от 2 до 25 °С. Грунт дна представлен разноразмерной галькой, песком, мелким щебнем и камнями с примесью детрита, редко встречалась глина.

Материалом для определения фотосинтетических пигментов служили водоросли перифитона, населяющие гравийно-галечный субстрат протоки Амурской. С глубины 0,1–0,3 м методом случайной выборки доставали 5–12 камней, с которых водоросли перифитона счищались щеткой

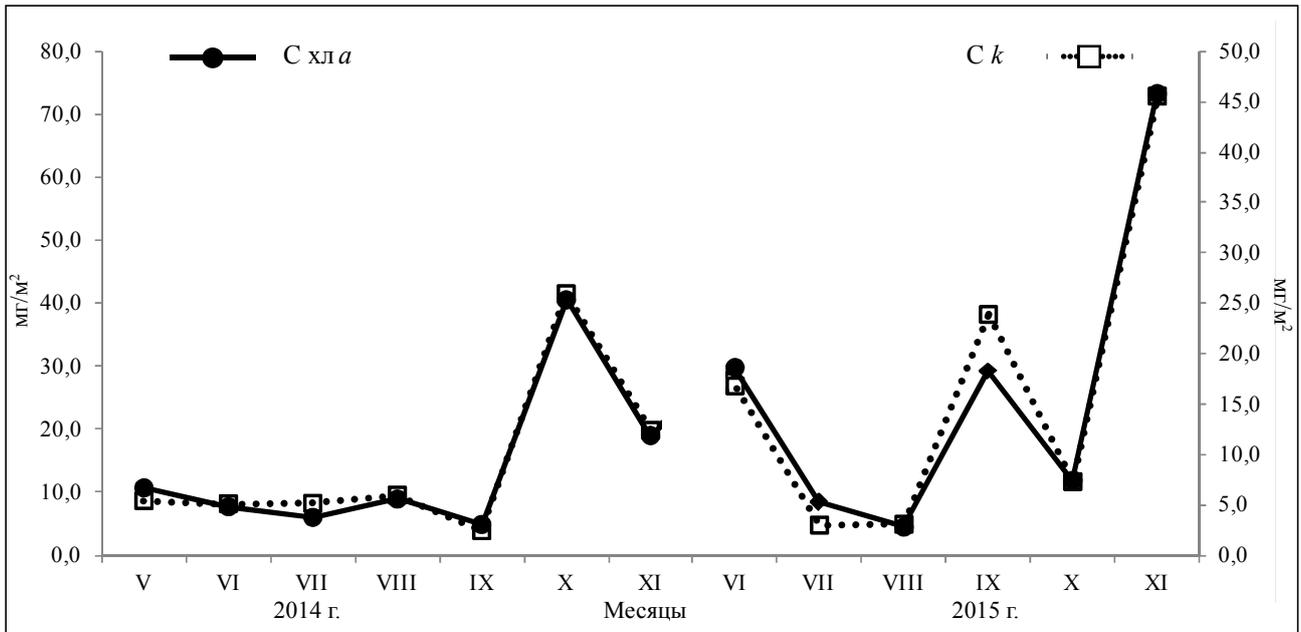
в определенном объеме воды. Затем определяли площадь камней по их проекции весовым методом [1]. Водоросли перифитона концентрировали из 0,27–0,46 л воды путем фильтрования через мембранные фильтры «Владипор» типа МФАС-ОС-3 и фильтры обеззоленные «синяя лента» (ТУ 6-09-1678-77). Определение пигментов перифитона проводили по стандартной спектрофотометрической методике в 90% ацетоновом экстракте с учетом методических уточнений М.А. Климина и С.Е. Сиротского [7]. Измерения выполняли с помощью спектрофотометра UV-mini-1240 фирмы Shimadzu. Оценка качества воды по концентрации хлорофилла *a* в перифитоне водотоков выполнена по [18]. Расчет первичной продукции под 1 м<sup>2</sup> и определение трофического статуса протоки проведены по [2, 3].

#### Результаты и их обсуждение

По результатам всех наблюдений в протоке Амурской концентрация основного пигмента растительной клетки – хлорофилла *a* колебалась в широких пределах: от 4,5 до 73,3 мг/м<sup>2</sup>. Минимальное значение было зафиксировано в августе 2015 г., максимальное – в ноябре 2015 г. Средняя концентрация хлорофилла *a* составила 20,3 мг/м<sup>2</sup>, наиболее часто встречающиеся значения находились в диапазоне, соответствующем мезотрофным водотокам, и свойственны для чистых вод [16]. Близкие к максимальным значениям (более 30 мг/м<sup>2</sup>) достигали уровня слабо евтрофных вод (октябрь 2014 г.) и гипертрофных (июнь и ноябрь 2015 г.) (рис. 1). Хлорофилл *a* составляет от 60 до 86% суммарного хлорофилла ( $a + b + c_1 + c_2$ ), содержание которого изменялось от 6,5 до 91,6 мг/м<sup>2</sup>. Желтых фотосинтетических пигментов содержалось от 2,4 до 45,6 мг/м<sup>2</sup> (в среднем 12,7 мг/м<sup>2</sup>), причем изменения концентрации хлорофилла *a* и каротиноидов согласованы между собой (рис. 1).

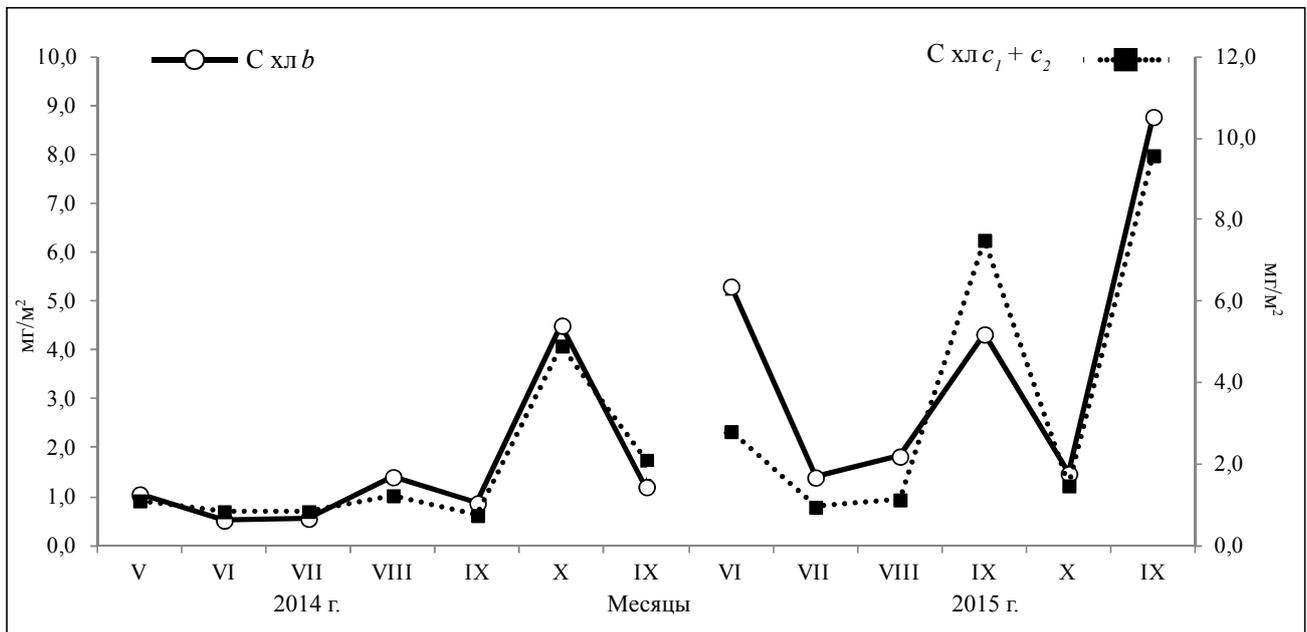
Содержание характерного для зеленых и сине-зеленых водорослей хлорофилла *b* колебалось от 0,5 (июнь 2014 г.) до 8,8 мг/м<sup>2</sup> (ноябрь 2015 г.) (в среднем 2,6 мг/м<sup>2</sup>) и пигмента диатомовых и золотистых водорослей хлорофилла  $c_1 + c_2$  – от 0,7 (сентябрь 2014 г.) до 9,6 мг/м<sup>2</sup> (ноябрь 2015 г.) (в среднем 2,8 мг/м<sup>2</sup>) (рис. 2).

Отношение каротиноидов к хлорофиллу *a* ( $C_k / C_{хл a}$ ) в среднем за вегетационные сезоны было 0,6, при минимальных значениях 0,4–0,5 (весна, лето, осень), при максимальных – 0,7–0,9 (лето, осень). Установлено [5], что каротиноиды – более стабильный компонент пигментной системы, чем хлорофилл *a*, поэтому при старении популяции фитопланктона и при воздействии неблаго-



*Рис. 1. Динамика концентрации хлорофилла а (С хл а) и каротиноидов (С к) в протоке Амурской*

*Fig. 1. Dynamics of chlorophyll a (C chl a) and carotenoids (C k) concentration in the Amurskaya Channel*



*Рис. 2. Динамика концентрации хлорофилла b (С хл b) и хлорофилла c<sub>1</sub>+c<sub>2</sub> (С хл c<sub>1</sub>+c<sub>2</sub>) в протоке Амурской*

*Fig. 2. Dynamics of chlorophyll b (C chl b) and chlorophyll c<sub>1</sub>+c<sub>2</sub> (C chl c<sub>1</sub>+c<sub>2</sub>) in the Amurskaya Channel*

приятных факторов среды, которые способствуют деструкции хлорофилла *a*, отношение  $C_k / C_{chl\ a}$  возрастает. Амплитуда его колеблется в широких пределах. Высокие средние значения  $C_k / C_{chl\ a}$  (около 1,0) характерны для мелководных водохранилищ и озер из-за ресуспензии каротиноидов из донных осадков, содержащих водорослевый детрит [6].

Величина отношения хлорофилла *a* к хлорофиллу  $c_1+c_2$  ( $C_{chl\ a} / C_{chl\ c_1+c_2}$ ) находилась в интервале 3,9–9,7, с наименьшими показателями в августе–октябре 2015 г. и наибольшими в мае 2014 г. (рис. 3) и характеризовала фотосинтетическую активность водорослей перифитона.

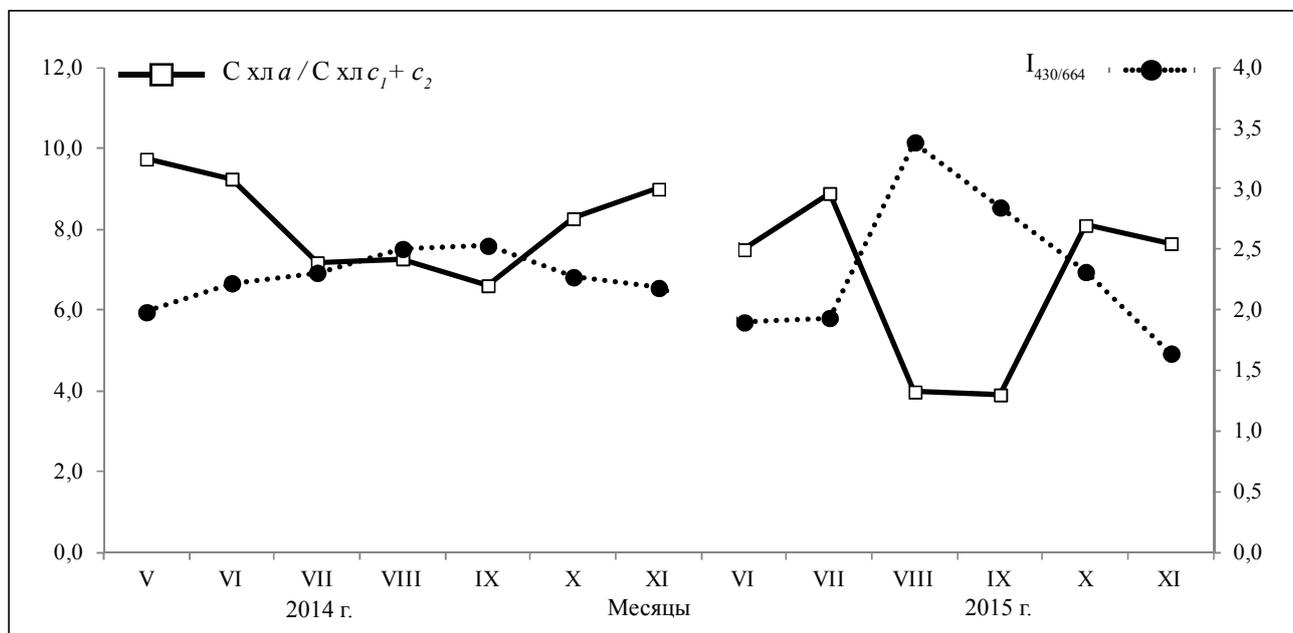
Максимальное значение пигментного индекса ( $I_{430/664}$ ) (3,4) (август 2015 г.) определяло вполне устойчиво функционирующий перифитон и, следовательно, большое разнообразие дополнительных пигментов. Среднее значение пигментного отношения ( $O_{480/664}$ ) (0,7) в период исследований также служило показателем нормального физиологического состояния водорослей, обитающих при достаточной обеспеченности биогенным питанием [17].

Сезонная динамика пигментов в водорослях перифитона протоки Амурской подтверждает важные изменения их содержания в весенний и осенний периоды, продиктованные экологическими условиями и биологическими особенностями

ми водорослей перифитона. Так, в 2014 г., после прохождения катастрофического паводка 2013 г. на р. Амур, четкий пик концентрации фотосинтетических пигментов наблюдался в октябре. В июне-июле этого же года произошло уменьшение количества пигментов в связи с повышением уровня воды в р. Амур. В августе и октябре отмечался подъем содержания хлорофилла *a* при снижении уровня воды в р. Амур на определенном участке водотока. В сентябре и ноябре на развитие водорослей перифитона отрицательно повлияло понижение температуры воды в протоке. В 2015 г. зафиксировано три пика концентрации пигментов – в июне, сентябре, ноябре, при небольшом спаде в июле–августе и октябре. Наименее продуктивным по содержанию пигментов был август, что объясняется повышением уровня воды в р. Амур; наиболее продуктивным – ноябрь, в первой половине которого сохранялась довольно теплая погода.

Средние значения величин концентраций основного и вспомогательных фотосинтетических пигментов несколько увеличились относительно 2014 г., что связано с формированием в этот период наиболее благоприятных абиотических факторов для развития водорослей перифитона (табл.).

*Трофический статус и состояние экосистемы.* Трофический статус протоки по средневзвешенным за вегетационные периоды значениям концентрации хлорофилла *a* в перифитоне



**Рис. 3. Динамика соотношения хлорофиллов *a* и  $c_1+c_2$  ( $C_{chl\ a} / C_{chl\ c_1+c_2}$ ) и пигментного индекса ( $I_{430/664}$ ) в протоке Амурской**

**Fig. 3. Dynamics of chlorophyll *a* and  $c_1+c_2$  ( $C_{chl\ a} / C_{chl\ c_1+c_2}$ ) ratio and pigment index ( $I_{430/664}$ ) in the Amurskaya Channel**

Средние показатели фотосинтетических пигментов в водорослях перифитона протоки Амурская в 2014 и 2015 гг.

Table

Average value photosynthetic pigments in Periphyton algae of the Amurskaya Channel in 2014 and 2015

Год	С хл <i>a</i> , мг/м <sup>2</sup>	С хл <i>b</i> , мг/м <sup>2</sup>	С хл <i>c</i> <sub>1</sub> + <i>c</i> <sub>2</sub> , мг/м <sup>2</sup>	С <i>k</i> , мг/м <sup>2</sup>	О <sub>480 / 664</sub>	І <sub>430 / 664</sub>
2014	14,6	1,4	1,7	9,3	0,6	2,3
2015	26,7	4,0	4,1	16,6	0,7	2,3

(20,3 мг/м<sup>2</sup>) оценивается как мезотрофный, II класс качества, воды чистые. Годовые для протоки Амурской показатели продукции перифитона находятся в пределах от 78 до 1284 гС/м<sup>2</sup> или от 916 до 15024 ккал/м<sup>2</sup>, средние – 355 гС/м<sup>2</sup> или 4151 ккал/м<sup>2</sup> в год; вылов рыб – 0,18% от первичной продукции. Водные массы протоки по показателям продукции перифитона соответствуют гипертрофному типу.

#### Заключение

Выполненные исследования показали, что в сезонной и межгодовой динамике пигментных характеристик водорослей перифитона протоки Амурской в 2014–2015 гг. наблюдалось чередование мало- и высокопродуктивных периодов. Установлено, что в 2015 г. произошло повышение средних значений фотосинтетических пигментов. Максимальные концентрации основного фотосинтетического пигмента *a*, соответственно, величин первичной продукции наблюдались в периоды осенней межени, что связано с активным развитием водорослей перифитона.

В целом в протоке Амурской наблюдаются благоприятные условия для фотосинтеза и развития водорослей. Содержание хлорофилла *a* в протоке сопоставимо с таковым в других реках Дальнего Востока России [1, 16–17]. Изменение всех фотосинтетических пигментов в водорослях перифитона происходит взаимосвязанно. Распределение пигментных характеристик альгоценозов перифитона в речной системе р. Амур характеризуется увеличением их содержания в летний и осенний периоды. Значения пигментного индекса свидетельствуют о том, что изменений в физиологическом состоянии водорослей перифитона в протоке не происходило. По годовым величинам интегральной первичной продукции протока Амурская относится к высокопродуктивным водотокам. Современное экологическое состояние протоки на основе пигментных характеристик во-

дорослей перифитона можно оценить как удовлетворительное, воды чистые.

*Автор искренне благодарен М.А. Климину и С.Е. Сиротскому (ИВЭП ДВО РАН, г. Хабаровск) за неоценимую помощь при обработке проб, критические замечания и поддержку.*

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Богатов В.В. Экология речных сообществ российского Дальнего Востока. Владивосток: Дальнаука, 1994. 218 с.
2. Бульон В.В. Первичная продукция планктона внутренних водоемов. Л.: Наука, 1983. 150 с. (Тр. Зоол. ин-та АН СССР. Т. 98).
3. Винберг Г.Г. Первичная продукция водоемов. Минск: Изд-во АН БССР, 1960. 329 с.
4. Гидрологическая изученность. Т. 18, вып. 1. Амур. 1966. 487 с.
5. Елизарова В.А., Пырина И.Л., Гецен М.В. Содержание пигментов фитопланктона в водах Харбейских озер // Продуктивность озер восточной части Большеземельской тундры. Л.: Наука, 1976. С. 55–63.
6. Ермолаев В.И. Фитопланктон водоемов бассейна озера Сартлан. Новосибирск: Наука, 1989. 96 с.
7. Климин М.А., Сиротский С.Е. Распределение фотосинтетических пигментов в профиле торфяных отложений как отражение колебаний климата в голоцене // Биогеохимические и геоэкологические процессы в экосистемах. Вып. 15. Владивосток: Дальнаука, 2005. С. 237–248.
8. Котовщиков А.В. Пигментные характеристики альгоценозов речной системы Оби: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Борок, 2012. 24 с.
9. Медведева Л.А. Количественные характеристики сообществ перифитонных водорослей реки Кедровая (Приморский край) // Чтения памяти В.Я. Леванидова. Вып. 6. Владивосток: Дальнаука, 2014. С. 443–452.

10. Медведева Л.А., Никулина Т.В. Каталог пресноводных водорослей юга Дальнего Востока России. Владивосток: Дальнаука, 2014. 271 с.
11. Минеева Н.М. Растительные пигменты в воде волжских водохранилищ. М.: Наука, 2004. 155 с.
12. Мордовин А.М., Сиротский С.Е., Шестеркин В.П., Шестеркина Н.М. Динамика гидрохимических показателей воды на Нижнем Амуре // Формирование вод суши юга Дальнего Востока. Владивосток: ДВО АН СССР, 1988. С. 112–118.
13. Протасов А.А. Пресноводный перифитон. Киев: Наукова Думка, 1994. 307 с.
14. Сигарева Л.Е. Хлорофилл в донных отложениях волжских водоемов. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2012. 217 с.
15. Сиротский С.Е. Первичная продукция и деструкция органического вещества бассейна Нижнего Амура: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Киев, 1991. 26 с.
16. Сиротский С.Е. Фотосинтетические пигменты в перифитоне водотоков бассейнов рек Зея и Бурея // Чтения памяти В.Я. Леванидова. Вып. 6. Владивосток: Дальнаука, 2014. С. 619–628.
17. Сиротский С.Е., Медведева Л.А. Пигментные характеристики водорослей перифитона водотоков Дальнего Востока // Биогеохимические и экологические исследования природных и техногенных экосистем Дальнего Востока. Владивосток: Дальнаука, 1996. С. 86–96.
18. Сиротский С.Е., Юрьев Ю.Н. Трофический статус водных объектов бассейна Амура по содержанию хлорофилла «а» в автотрофных организмах // Геохимические и эколого-биогеохимические исследования в Приамурье. Вып. 10. Владивосток: Дальнаука, 2000. С. 111–129.
19. Трифонова И.С., Денисова И.А., Станиславская Е.В., Афанасьева А.Л. Первичная продукция и трофический статус макрофитного озера Большое Раковое (Карельский перешеек) // Биология внутренних вод. 1998. № 3. С. 9–18.
20. Bogatov V., Sirotsky S., Yuriev D. The ecosystem of the Amur River // Ecosystems of the World. River and stream ecosystems. Amsterdam-Oxford-New York-Tokyo: Elsevier. 1995. Vol. 22. P. 601–613.

## CONTENT OF PHOTOSYNTHETIC PIGMENTS IN PERIPHYTON ALGAE OF THE AMURSKAYA CHANNEL (Khabarovsk Territory)

N.M. Yavorskaya

*The author reports on the initial research results dealing with the content of photosynthetic pigments in Periphyton algae of the Amurskaya Channel (The Amur River near Khabarovsk). The research was conducted in the spring and autumn of 2014 and 2015. The author has analyzed seasonal dynamics of the Periphyton pigment features and made an assessment of current trophic state and water quality of the Amurskaya Channel by the content of chlorophyll.*

**Keywords:** *the Amur River, the Amurskaya Channel, Periphyton algae, photosynthetic pigments, seasonal dynamics, trophic status, bio indication.*